



Warszawa, dnia 25.06.2021 r.

prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

### Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym dr Stefanosa Papanikolaou

**Podstawa opracowania recenzji:** decyzja Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku związana z postępowaniem habilitacyjnym dr Stefanosa Papanikolaou i powołaniem mnie na recenzenta Komisji Habilitacyjnej. Pismo Pani dr hab. Anety Malinowskiej, Sekretarz Naukowej RN NCBJ, z dnia 17.06.2021 r. skierowane do mnie w tej sprawie.

#### **Ogólna informacja o Habilitancie i charakterze Jego dorobku naukowego, obszar badawczy, międzynarodowe zapisy bibliometryczno-repozytoryjne z komentarzem**

Habilitant jest obecnie pracownikiem NCBJ, członkiem Zespołu NOMATEN, a poprzednio był asystentem na Uniwersytecie Zachodniej Wirginii w USA, i nadal jest urlopowanym adiunktem w Uniwersytecie Johna Hopkinsa w Baltimore. Pracę magisterską i doktorat realizował na Uniwersytecie Illinois w Urbana-Champaign (odpowiednio w latach 2006 i 2008). Pracę licencjacką realizował na Uniwersytecie w Atenach (2003).

W zasadzie, od realizacji doktoratu w roku 2008 Habilitant podąża dość spójną ścieżką badawczą dotyczącą mikroskalowych badań struktury wewnętrznej niektórych rodzajów ciał stałych. W szczególności badania dotyczą: wąskiej grupy wybranych materiałów magnetycznych, metali, nadprzewodników na bazie żelaza i miedzi, elektronowych faz ciekło-krystalicznych, kwantowych cieczy spinowych QSL wykazujących splątanie o znacznym zasięgu, niestechiometrycznych stopów magnetycznych, przejść fazowych, różnych mechanizmów zaburzeń struktury spinowej, itp. Stosuje szereg metod badawczych, modelowania materiałów i zjawisk, zaawansowanych intensywnych obliczeń statystycznych oraz pomiarów plastycznego odkształcenia w mikroskali, metodę brute force Monte Carlo, metody obliczeniowe fizyki i mechaniki statystycznej, metody akustyczne crackling noise, szum Barkhausena, szereg metod oddziaływania mikromechanicznego, metodę frustracji geometrycznej spinów oraz współzawodniczących oddziaływań spinów, stochastyczny nieporządek interakcji, badanie dynamiki ścian domenowych, modelowanie i obrazowanie 2D/3D, kwantowy model dimerów (metoda RVB do nadprzewodników HTS miedziowych), porządkowanie typu tessellacja/parkietaż, hamiltonian i model Isinga i jego rozszerzenia/uogólnienia, modele Sherrington-Kirkpatrick, ANNNI, własne rozwinięcia metod analitycznych, i wiele innych.

Recenzent jest pełen podziwu dla bogatego i systematycznie rozwijanego z czasem warsztatu badawczego Habilitanta. Dorobek jest szeroki, nietrywialny, znacznie dokłada się do poznania właściwości plastycznych szczególnie metali i trudno jest go ocenić inaczej niż bardzo pozytywnie. Istotne jest, że analizując ten dorobek, jest widoczny proces poszukiwania przez Habilitanta własnej

drogi badawczej. Nie boi się wchodzić w nowe interesujące, ale ryzykowne ścieżki badawcze o potencjalnie niepewnym wyniku. Taką deklarację można odczytać między wierszami z najliczniej cytowanej (ponad 200 razy) publikacji współautorskiej Habilitanta z roku 2011.04 pt. *Universality beyond power laws and the average avalanche shape*, *Nature Physics* 7, 316-320. Ta deklaracja jest w pewnym sensie kontynuowana, nawet w bardziej otwarty sposób, w pierwszej, szerszej przeglądowej publikacji przedstawionej jako osiągnięcie badawcze – *Avalanches and plastic flow in crystal plasticity: An overview*, 2017 *MSMSE* 26(1), 013001.

Ciekawą cechą dorobku Habilitanta (obecnie H=17) jest fakt, że najczęstszy współautorzy tacy jak: dr James P.Setha, H=46 (Cornell Uni.), prof.Eduardo Fradkin H=73 (Illinois Uni.), dr Stefano Zapperi H=46 (Milan Uni.) są od Habilitanta znacznie, znacznie bardziej zaawansowani w dorobku naukowym. Habilitant w tych kluczowych publikacjach nie jest jeszcze rzeczywistym liderem. Jest młodym uczonym na dorobku, czerpiącym z doświadczenia niektórych znacznie starszych (prof.E.F, Jego promotor) i niektórych już tylko nieco starszych kolegów (dr JPS i dr SZ). Recenzent nie widzi w tym niź złego. Po prostu proveniencja Habilitanta jest znakomita. Docenić należy fakt, że w szeregu publikacjach młody uczoney jest wystawiany jako pierwszy autor, a więc ten który wykonuje największą pracę w danym projekcie naukowym.

Habilitant wykorzystuje do badań mikroskalowych materiałów metodę zaburzonych spinów. W niektórych rodzajach materiałów magnetycznych charakteryzujących się przypadkowym rozmieszczeniem spinów w sieci krystalicznej ich struktura i rodzaj oddziaływań prowadzą do zaburzenia, lub jak to niektórzy autorzy określają frustracji spinów. Taki stan w materiale bywa nietrwały energetycznie powodując jego zmiany czasowe. Materiał powoli relaksuje z szybkością zależną od temperatury. Od góry procesy relaksacji są ograniczone temperaturą przemiany fazowej do postaci np. paramagnetycznej. Od dołu mogą być ograniczone powstawaniem w materiale domen spinowych. Przemiany relaksacyjne w materiale zwalniają ze zmniejszaniem temperatury. W powstających w materiale domenach energia oddziaływania jest większa od energii termicznej. Po przekroczeniu progu perkolacji mówimy o domenie obejmującej całą badaną próbkę materiału. Przykładem tej klasy materiałów są szkła spinowe, ale nie tylko.

Struktura spinowa jest czułym miernikiem zmian w badanym materiale. Zaburzenie układu spinowego może w materiale wynikać nie tylko z jego struktury naturalnej, ale być spowodowane oddziaływaniem zewnętrznym. Jeśli takie zaburzenie wymusimy mikroskopowo lub nanoskopowo, to niektóre materiały mogą zmieniać lokalnie swoje właściwości. Jest wiele metod wprowadzania takich zaburzeń. Habilitant prowadzi badania w skali mikrostrukturalnej nad odkształceniem plastycznym metali. Naturalną metodą, wśród wielu innych, są pomiary magnetyczne. Stosuje się także inne oddziaływania na materiał np. termiczne, mikromechaniczne, promieniowaniem jonizującym, i inne.

Ogólną zasadą jest prowadzenie takich badań przez habilitanta w warunkach mezoskopowych i submezoskopowych. Dopiero próbki mikroskopowe lub jeszcze bardziej nanoskopowe dają wgląd w nieciągły, skokowy charakter procesów wewnętrznych w materiale odzwierciedlanych charakterystyką naprężenie – odkształcenie. Takie badania są prowadzone od dość dawna. Przemieszczenia dyslokacyjne sieci krystalicznej spowodowane naprężeniem mikropróbek, np. nanoprętów, powodują ich nieodwracalną deformację plastyczną. Wewnętrzne lawiny dyslokacyjne prowadzą do skokowego odkształcenia mikropróbki określanego terminem strain bursts, kumulacji i rozładowania naprężenia. W odróżnieniu od tego w makropróbce plastyczność materiału ujawnia się jako proces raczej płynny. Granularne procesy w mikropróbkach podlegają symulacjom 3D. Dynamika oddziałujących ze sobą dyslokacji podlega statystycznej analizie deformacyjnego zachowania materiału. Określany jest rozkład zmian naprężenia podczas dyslokacji lawin. Określanych jest także szereg innych parametrów procesu, jak np. zależność od wymiarów mikrokrystalitów.

Habilitant prowadzi badania nad materiałami (w zespołach) w wybranych warunkach trudnych analitycznie. W warunkach znacznych fluktuacji naprężenia w mikropróbkach analiza procesu formowania plastycznego próbki jest utrudniona. Wpływ wymiarów mikropróbki kryształu na wytrzymałość i plastyczność były także przedmiotem licznych badań już kilkanaście lat temu (D.Dimiduk). Jedną z kluczowych prac w autorstwie dr D.Dimiduka dotycząca tego zagadnienia posiada ponad 2000 cytowań (Sample dimensions influence strength and crystal plasticity, Science 305, 5686). Wiele zagadnień sformułowanych w tej wyprzedzającej pracy podlegało dalszym badaniom później, między innymi przez Habilitanta. W czasie plastycznego odkształcania kryształu zachodzi szereg zjawisk w obszarach submikronowych, kumulacja i powielanie dyslokacji, ruch, poślizg, pinning-depinning, zarodkowanie, itp. Przy niektórych procesach wymiar próbki może ograniczać skalę wymiarową zachodzących procesów plastycznych. Inaczej mówiąc, płynięcie plastyczne i deformacja materiału w skali mikro charakteryzuje się przerywanymi cyklami rozładowania naprężeń o bezskalowym rozkładzie wymiarowym (zależność potęgowa). W niektórych jednak przypadkach te zjawiska w skali mikro odzwierciedlają się w skali makro w postaci np. schodkowej krzywej naprężenie-odkształcenie. Wówczas w wyniku rozładowania naprężeń tworzone są większe struktury np. połączonych grup dyslokacji i płaszczyzn poślizgu (np. zjawisko PLC interakcji pomiędzy dyslokacjami i dyfundującymi rozpuszczonymi domieszkami). Zjawiska takie i analogiczne stanowią ograniczenie dowolnego formowania materiału w skali makro.

Jedną z metod alternatywną do odkształcania całej próbki jest wykorzystanie nanoindentacji lub pokrewnych sposobów zaburzenia np. zarysowania w nanoskali struktury materiału także czasami w obecności np. pola magnetycznego, lub innych dodatkowych zaburzeń. Wprowadzając kontrolowane jakościowo i ilościowo oddziaływania prowadzące do różnego rodzaju odkształceń plastycznych kryształów w nanoskali i odpowiednie metody pomiaru struktury można pokusić się o odtworzenie historii przetwarzania materiału nawet po kilkukrotnych nieznanym oddziaływaniach. Krytyczną sprawą jest wybór rozmiaru i kształtu próbki krystalicznej. Inną metodą ograniczenia rozmiarów próbki jest badanie wiskersów, ale jest to możliwe tylko dla materiałów które tworzą kryształy nitkowe. Rozmiarowa skala badawcza dla różnych próbek jest znaczna. Jeszcze inne metody badania zjawisk fizycznych w tym także lawin dyslokacyjnych w plastycznie deformowanych metalach jest dołączenie pomiarów akustycznych, a także innych narażeń potencjalnie wywołujących zjawiska gwałtowne.

W kilku pracach zgłoszonych do cyklu określającego osiągnięcie naukowe, i to pracach wyróżniających się jakościowo, Habilitant jest współautorem z jednym z niekwestionowanych liderów światowych tego obszaru badawczego w tej tematyce badań mikrostrukturalnych mikroskalowych plastyczności kryształów, wymienionym już dr Dennisem Dmidukiem H=61 (profesor na Uniwersytecie Stanowym Ohio i prezes firmy BlueQuartz Software). Prof.D.Dimiduk nie jest najczęstszym współautorem, jak osoby wymienione wyżej w tej opinii, ale wydaje się bardzo ważnym ze względu na tematykę prac i ich kontynuację przez Habilitanta. Używam określenia lider, bowiem, dr D.Dimiduk posiada kilkukrotnie większy dorobek naukowy w tym obszarze niż Habilitant, mimo bardzo dobrego dorobku Habilitanta. Wynika to także ze znacznie dłuższego okresu aktywności naukowej dr D.Dimiduka. W każdym razie porównując przyrost dorobku i jej pochodną (a porównujemy się chętnie do najlepszych), przy założeniu utrzymania tempa prac, potencjał twórczy Habilitanta jest znaczny. Niektóre tematyki pokrywają się nawet w pracach odrębnych np. zastosowanie do analizy metody głębokiego uczenia, sztucznej inteligencji, techniki odkształcania utwardzającego w nanopróbkach, obrazowanie 3D i inne. Recenzent odbiera to jako podążanie czołowych autorów wzdłuż pewnych zauważonych w środowisku tematycznym ścieżek rokujących dalszy efektywny rozwój metod badawczych. Habilitant jest bystrym obserwatorem działania lepszych od siebie, a jednocześnie aktywnym uczestnikiem, twórcą nowych tendencji badawczych.

Habilitant prowadzi podstawowe strukturalne badania materiałowe nie zajmując się aspektami aplikacyjnymi. Mimo tego badania te są dość bliskie aplikacji w takich obszarach jak modelowanie plastyczności, wytrzymałość materiału, zwiększanie wytrzymałości poprzez wyżarzanie kompresyjne, defekty materiału, szczegóły deformacji materiału, generacja mikro i nanouszkodzeń, zjawisko skoków plastyczności, nanostrukturalne i mikrostrukturalne niszczenie materiału – pęknięcia, lawiny dyslokacji i ich propagacja, struktura powierzchni, tarcie, maksymalizacja tarcia, odporność materiału na ścinanie, sztywność, przewidywanie właściwości mechanicznych materiału, zastosowanie metod numerycznych z obszaru sztucznej inteligencji do określania właściwości mechanicznych materiałów, odczytywanie historii deformacji mikropróbek materiału itp. Nawet jeśli bezpośrednio tych badań nie można określić jako aplikacyjne, są one bez wątpienia blisko tej granicy. To rokuje dobrą współpracę Habilitanta w Zespole NCBJ NOMATEN.

Habilitant i Jego dorobek naukowy jest relatywnie szeroko obecny w globalnych bibliometrycznych bazach danych i profesjonalnych publicznych repozytoriach publikacji naukowych. Profil ORCID wskazuje miejsce pracy NCBJ i zawiera jedynie bardzo podstawowe i niepełne informacje, odnośniki do ostatnich pięciu prac i linki do profili Scopus i Publons. Profil Scopus wykazuje 49 indeksowanych prac, w tym wszystkie 8 przedstawione jako osiągnięcie naukowe. Prace były cytowane 1041 razy przez 867 różnych dokumentów. Indeks Hirscha w Scopusie wynosi 17.

Profil Publons (WoS, ResearcherID) zawiera 50 pozycji indeksowanych w Web of Science, 992 razy cytowanych oraz WoS indeks Hirscha wynosi  $H=16$ . Zdefiniowane obszary badawcze w WoS są: nauka o materiałach, nauka o danych, nanotechnologie, mechanika statystyczna oraz fizyka teoretyczna. Profil Publons zawiera wykaz recenzji wykonanych w czasopismach WoS, w tym głównie w czasopismach wydawanych przez IOP. Baza danych Google Scholar zawiera 121 pozycji bibliometrycznych cytowanych łącznie 1586 razy. Indeks GS Hirscha wynosi  $H=21$ . Obszary badawcze wymienione w GS są: statistical mechanics, mechanical response, random media.

W semantycznej bazie bibliometrycznej tworzonej metodami sztucznej inteligencji, Semantic Scholar Habilitant posiada 110 indeksowanych prac, cytowanych 1134 razy, w tym wskaźnik cytowań o bardzo dużym wpływie wynosi 22. Indeks Hirscha Semantic Scholar wynosi  $H=17$ . W repozytorium RG (ResearchGate) znajduje się 91 indeksowanych prac Habilitanta, cytowanych 1350 razy, odczytanych ok. 6000 razy. Obszar badawczy jest określony jako: mechanika, fizyka materiałów, nauka o materiałach oraz zaawansowane modelowanie statystyczne. Indeks RG Hirscha wynosi - całkowity  $H=18$ , i bez autocytań  $H=17$ . Indeks  $RG=33.04$ . Wskaźniki te są wg. recenzenta bardzo dobre, znacznie powyżej średniej kandydata na doktora habilitowanego fizyki.

Najbardziej cytowana praca Habilitanta w bazach bibliometrycznych, nie została zamieszczona w wykazie publikacji składających się na zdefiniowane osiągnięcie naukowe. Znajduje się ona również w głównym nurcie prac badawczych Habilitanta: *Universality beyond power laws and the average avalanche shape*, opublikowana w roku 2011, posiada 209 cytowań (*Nature Physics* 7(4) 316-320). Praca ma 6 współautorów, ale Habilitant jest autorem pierwszym i korespondencyjnym. Uśrednione kształty przebiegów czasowych i czas trwania lawin dyslokacyjnych były mierzone/symulowane w plastycznie deformowanych metalach. W materiałach magnetycznych w postaci taśm mierzono szumy magnetyzacji. Asymetrię lawin przypisano prądom Foucaulta. Praca dotyczy badań eksperymentalnych szumu (crackling noise) lawin Barkhausena w cienkich warstwach permaloju. Symetrię lawin uzyskano poprzez tłumienie prądów wirowych w odpowiednio ukształtowanej próbce. Ilościowy opis zjawisk uzyskano stosując teorię średniego pola a w tym model dynamiki ścian domenowych oraz model Isinga przejść fazowych. Obliczono średni kształt czasowy lawiny w funkcji parametrów - szybkość zmiany pola i współczynnik demagnetyzacji. Badanie kształtu lawiny dyslokacyjnej daje znacznie więcej

informacji niż określenie krzywej naprężenie – deformacja, i jej przybliżenie wielominowe, w zagadnieniu skalowania wymiarowego. Tą tezę Habilitant nawet zawiera w tytule tego artykułu.

Recenzent podsumowuje widoczność Habilitanta w naukowej sieci globalnej, która to widoczność podchodząc do niej ostrożnie, z dystansem, refleksją i bardzo krytycznie jest jednak pewną miarą docenienia uczonego. Obecność Habilitanta i Jego dorobku w publicznej globalnej sieci naukowej, w sensie ilościowym i jakościowym jest znaczna, relatywnie do okresu indeksowanej działalności. Regularnie powiększa swój dorobek od uzyskania stopnia doktora z dziedziny fizyki w roku 2008. Przyspieszenie tego korzystnego przyrostu można zaobserwować od roku 2017, wraz z silniejszym ukierunkowaniem tematyki badawczej na mikro i nanoskalowe badania mikroskroturalne plastyczności niektórych materiałów. Podsumowując publiczną obecność Habilitanta i Jego dorobku w sieci naukowej recenzent stwierdza, że jest ona zdecydowanie ponadprzeciętna dla osoby starającej się o stopień doktora habilitowanego z dziedziny fizyki. Ta ponadprzeciętność jest szczególnie podkreślona obecnością w dorobku Habilitanta dobrych merytorycznie prac napisanych samodzielnie jako jedyny autor. Główny dorobek jest jednak uzyskiwany w pracach zbiorowych co jest w pełni zrozumiałe i wynika ze złożonego charakteru prowadzonych eksperymentów wspartych teorią dotyczącą struktury materii, głównie ciał stałych. Recenzent bardzo wysoko ceni obecność w dorobku Habilitanta opublikowanych nietrywialnych prac samodzielnych. Z doświadczenia recenzenta wynika wniosek, że brak samodzielnej dobrej publikacji, pokazującej odpowiednio wysoką klasę autorską, jest często bolączką krajowych kandydatów do habilitacji, pokazujących dobry dorobek, ale wyłącznie kolaboracyjny.

Recenzent nie chciałby pominąć faktu w niniejszej opinii, że proces habilitacyjny jest powiązany z zatrudnieniem dr Stefanosa Papanikolaou w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (01.09.2020) jako lidera jednej z grup badawczych w relatywnie niedawno utworzonym Centrum Doskonałości Materiałów Funkcjonalnych dla zastosowań przemysłowych i medycznych NOMATEN, działającym obecnie pod kierownictwem prof. Mikko Alava z Finlandii. W informacji w portalu nuclear.pl z dnia 9 lutego 2021 czytamy – „NOMATEN: W 2020 osiągnęliśmy zdolność operacyjną i zbudowaliśmy zespół, który ruszył z projektami w dziedzinie badań materiałowych.” Habilitant dołączył do prestiżowego zespołu wygrywając wymagający międzynarodowy konkurs naukowy i prezentując autorski program badań w zakresie swoich kompetencji naukowych. Badania Habilitanta dotyczące fizyki materiałowej są blisko związane z problematyką potencjalnej optymalizacji materiałów w kierunku ich funkcjonalizacji. Fakt dołączenia do zespołu NOMATEN recenzent traktuje jako wysoką ocenę i ważne docenienie merytoryczne dorobku dr S. Papanikolaou przez naukową społeczność krajową i międzynarodową. Jeśli Habilitant utrzyma dotychczasowe wysokie tempo prac badawczych i swojego rozwoju naukowego i odpowiednio ukierunkuje swoje dotychczasowe prace na funkcjonalizację materiałów to bez wątpliwości będzie jednym z liderów Zespołu Badawczego Centrum NOMATEN. Tym bardziej, że NCBJ dysponuje doskonałym własnym zespołem badawczym w tym obszarze, wzbogaconym ostatnio przez kilku specjalistów międzynarodowych, więc Habilitant nie będzie działał w osamotnieniu.

### **Ocena udokumentowanych osiągnięć naukowych Habilitanta w obszarze „Modelowanie wieloskalowe, przewidywanie i uczenie maszynowe wahań odkształceń stochastycznych w ciałach stałych”**

Swoje osiągnięcie badawcze Habilitant definiuje w cyklu 8 publikacji rozciągniętych w dość znacznym okresie czasu obejmującym lata 2012-2020. W zasadzie tylko jedna praca sięga do roku 2012. Jest to publikacja (numer 4) w Nature, gdzie autorzy w większym zespole pokazują wyniki związane z quasi-periodycznymi zjawiskami dotyczącymi plastyczności kryształu, a w tym dynamiki dyslokacji w postaci oscylacyjnej samo-organizującej lawiny dyslokacji. Autorzy patrzą szerzej na ogólne procesy

wyzwalania zjawisk gwałtownych, lawinowych po stopniowym przyłożeniu naprężenia do różnej klasy systemów (fizycznych, ale i społecznych, oraz wirtualnych, modelowych). Nic dziwnego, że takie ogólniejsze rozważania przyciągnęły znacznie więcej cytowań (ok.150) tej konkretnej pracy Habilitanta niż inne z pozostałych prac. Autorzy poszukują pewnych ogólniejszych atrybutów gwałtownych zjawisk lawinowego uwalniania nagromadzonej przez wolno lub szybciej narastające w systemie różnego rodzaju energie. Poszukują także subtelnych trygerów tych zjawisk na różnym poziomie ich narastania i z różną szybkością. Zjawiska te, czy to gwałtowne skokowe, lawinowe, quasi-periodyczne, drganiowo gasnące, czy łagodne, powolne relaksacyjne mogą mieć nieco inną naturę i być w pewnych przypadkach konkurencyjne wobec siebie, czasami znosząc się częściowo, czasami wzmacniając. Same procesy współzawodniczące w zjawisku mogą być trygerem. Przepływ dyslokacyjny może być aktywowany termicznie. Taka aktywacja może prowadzić do gwałtownej zmiany plastycznej systemu, między okresami spokojnego przepływu plastycznego. Trygerem może być wiele innych oddziaływań i to jest także przedmiotem badań w późniejszych pracach Habilitanta. Przedmiotem badań w tej pracy są zjawiska zachodzące w ścisłanej z różną szybkością, zmienną o 3 rzędy wielkości  $10^{-4} - 10^{-6}/s$ , mikrobekowej próbce mikrokryształu Ni. Do pomiarów autorzy wykorzystują ultraczułe ekstensometry i zaawansowane metody prowadzenia pomiarów oraz analizy wyników.

Pozostałe prace z cyklu prezentacji osiągnięcia naukowego obejmują już wąski okres ostatnich pięciu lat 2016-2020. Prace z nurtu osiągnięcia naukowego są rozłożone w czasie w sposób następujący 2016 – prace 2 i 3, 2017 – praca 1, 2018 – praca 7, 2019 – prace 5 i 6, oraz 2020 – praca 8. Podczas badań ścinających próbek materiału amorficznego (praca 2) habilitant obserwuje gromadzenie naprężeń i wyzwalanie w lokalnych regionach określanych jako strefy transformacji ścinającej. Pokazuje efekty tiksotropowe i etapy zachodzenia zjawiska przekształcania materiału w trakcie narastanie naprężenia w szkło (studnia potencjału wokół elementu szkłotwórczego, wiskoelastyczność, ciecz, tiksotropia) i wykorzystuje w modelowaniu depiningowym. Jednym z głównych przedmiotów pracy są rozważania nad skalą gwałtownych zjawisk deformacyjnych od nanoskali do makroskali i poszukiwanie wspólnych mianowników w celu wysnuć ogólniejszych wniosków dotyczących praw rządzących tymi powszechnymi zjawiskami. W szczególności rozważa w tej pracy i kilku o pokrewnej tematyce, oraz modeluje długie przerwy pomiędzy zjawiskami wyładowania. W czasie tych przerw, w zależności od warunków zewnętrznych i pobudzania zachodzi szereg interesujących autora zjawisk, gromadzenie, relaksacja, oscylacyjne zmiany naprężeń, poślizg i 'sklejanie' warstw, itp. Zjawiska te odnosi do różnych skal czasowych i rozmiarów próbek.

Większość prac badawczych dotyczy metali i obejmuje eksperyment i modelowanie. Przeszkody i źródła dynamiki dyslokacyjnej w nanobelkach poddanych kompresji bada poprzez analizę statystyk gwałtownych zjawisk plastycznych. Obserwuje w badanych próbkach skokowe odkształcenia i skokowe spadki naprężenia, różne w zależności od warunków obciążenia – praca 3 i kilka podobnych tematycznie wymienianych poza definicją osiągnięcia naukowego. Deformacja nanobelk jest ilościowo i jakościowo różna od zachowania materiału objętościowego. Mierzy emisję akustyczną z próbek wzrastającą z maleniem wymiarów próbek i zwiększaniem ich wytrzymałości. Podobnie do innych prac bada zagadnienie skal wymiarowych i czasowych.

W pracy 1 (2017) Habilitant w pewien sposób dojrzewa do szerszego podsumowania swoich dotychczasowych wczesnych osiągnięć na większym tle badawczym środowiska naukowego (jest pierwszym autorem w większym międzyuczelnianym zespole autorów – U. Zachodniej Wirginii, Johns-Hopkins U., U. California). Praca deklарowana jako artykuł w czasopiśmie, opublikowana także w arXiv1705.06843 jest w zasadzie dość obszerną monografią a nie artykułem. Trzy główne przeglądowe rozdziały monografii dzielą mikroskalowy obszar badawczy płynięcia plastycznego i lawin w kryształach na część eksperymentalną obserwacji gwałtownych zjawisk plastycznych, modeli dyslokacji, lawin i gwałtownych odkształceń, oraz wyników i efektywności modelowania. W części eksperymentalnej

dokonano przeglądu badanych zjawisk i metod badawczych głównie, nanobelk przy pomocy nanoindentacji. Wymieniono zjawiska Protevin-LeChatelier i Ludersa. Opisano metody dodatkowej aktywacji próbek i różnych metod obciążania w tym cyklicznych/periodycznych. W następnych częściach dokonuje przeglądu modeli zjawisk odkształceń i rezultaty modelowania. Praca jest świetnym przeglądem tematyki mechanicznych badań mikroskalowych, także dla osób spoza branży, w wyczerpujący i przystępny sposób pokazując kluczowe zagadnienia w tym obszarze.

W jednoautorskiej pracy 7 (2018) arXiv:1803.03603 Habilitant rozważa zagadnienia mikroskalowych badań plastyczności kryształów i ciał amorficznych jako problem wielociałowy w sytuacji odległej od równowagi, a więc o dużej podatności na warunki początkowe. To pozwala na zastosowanie innych metod analitycznych podobnych do stosowanych w przypadku chaosu. Za znaczny stan nierównowagi analizowanego systemu odpowiedzialna jest historia materiału, kreująca warunki początkowe potencjalnej analizy dalszych zjawisk. W modelowaniu plastyczności historia materiału jest zapisywana jakościowo i ilościowo jako lokalny rozkład naprężeń. Te skomplikowane rozkłady naprężeń jako warunki początkowe, jako zamrożony nieporządek w materiale, są odpowiedzialne za dalszą odpowiedź materiału np. w postaci zjawisk gwałtownych, quasi-oscylacyjnych, relaksacyjnych – o różnych stałych czasowych, różnym poziomie trygera, histerezy, sygnałów akustycznych. Itp. W pewien sposób dalsze badanie próbki ujawnia jej historię poprzednich odkształceń. Praca 6 (2019) jest napisana we współautorstwie z H.Songiem i w pewnym sensie jest kontynuacją tematyki poruszonej w pracy 7 czyli silnej zależności właściwości nanobelki metalowej od warunków początkowych określonych przez jej historię odkształceń plastycznych – początkową gęstość dyslokacji. Odpowiedź systemu zależy od wymiaru i ma charakter mechaniczno stochastyczny. Symulacje pokazują odkształcenia typu multi-slip, skośnie do długiej osi nanobelki.

Praca 5 (2019) napisana we współautorstwie z prof. Dennisem Dmidukiem, (i H.Songiem), PRL 122, 178001 jest jedną z najlepszych prac Habilitanta. Mimo różnic właściwości deformacyjnych materiałów krystalicznych i amorficznych autorzy poszukują symetrii w lawinowych zjawiskach gwałtownych, nazywając to klasą uniwersalności nanoplastyczności. Charakter defektów mikroskopowych w tych materiałach jest różny. Odpowiedź materiałów krystalicznych w porównaniu z amorficznymi jest zwykle gwałtowniejsza dla znacznych naprężeń i dla szybkiego wzrostu obciążeń. Przedmiotem badań symulacyjnych jest lokalizacja i samo-organizacja w dyskretnych dynamicznych procesach dyslokacji. Autorzy pokazali, że dla szybkiego wzrostu naprężenia statystyczne zachowanie systemu nanokrystalicznego jest zdominowane przez klasyczny model plastyczności dyslokacyjnej. Zjawiskiem współistniejącym jest nukleacja dyslokacji. Dla dużych szybkości zachowanie systemu określają korelacje o znacznym zasięgu dyslokacji ruchomych. Dla małych szybkości dominuje plastyczność lokalna w małych objętościach i obserwuje się całkowanie przestrzenne lawin. Autorzy ograniczają modelowanie tylko dla małych deformacji. Mikrobjelka w symulacji ulega odkształceniu poślizgowemu, wielowarstwowemu, skośnie do swojej długości Oprócz własnych wyników ta krótka 5 stronicowa praca ma charakter przeglądowy powołując się na prawie 100 referencji.

Obszerna jednoautorska praca 8 (2020) Comp.Mech. 66:141-154, jest według recenzenta bardzo ważną publikacją w dorobku Habilitanta. Autor stawia tezę, że stosując odpowiedni model systemu i oprogramowanie typu głębokiego uczenia i sztucznej inteligencji można w pewnych przypadkach przewidzieć zachowanie tego systemu odnośnie do plastyczności i uszkodzeń. Metoda bazuje na technikach big-data. W bogatym zbiorze danych o systemie poszukuje wiedzy o nim, wspomagającej predykcję zachowania. Tezę testuje na stopach binarnych. Dane dotyczące systemu i związane z jego właściwościami mikroskalowymi nazywa mikrostrukturalnymi nieelastycznymi znacznikami (microstructural inelastic fingerprints).

Rok 2021 praktycznie recenzent pomija w opinii bowiem Habilitant w zasadniczy sposób zmieniał swoje środowisko pracy, co pewnie w jakiś sposób wpłynęło na bieżącą działalność. Może wspomnę tylko o jednej pracy, która także należy dokładnie do nurtu tematycznego osiągnięcia naukowego – Nanoindentation of single crystalline Mo: Atomistic defect nucleation and thermomechanical stability, preprint arXiv2105.07744. Współautorami pracy są prof. Paweł Sobkowicz z NCBJ, oraz prof. M. Alava z NOMATEN i Aalto/Espoo, współpracownicy już z nowego miejsca działania dr S. Papanikolaou. Artykuł jest sygnowany afiliacją NOMATEN. Ta praca jest ciekawa także pod szczególnym względem, bowiem współautor (nie jest pierwszym autorem w tej pracy) w grupie autorskiej ukierunkowuje ją w pewnym stopniu na funkcjonalizację i aplikację materiału. Metale monokrystaliczne o geometrii krystalizacji BCC (body-centered cubic) wykazują bardzo dobrą odporność na wysokie temperatury. Autorzy wskazują po kilku odmiennych badaniach nanoindentacyjnych dla różnych orientacji monokryształu i różnych promieni ostrza nanowgłębnika, nukleacji defektów i lokalnych mechanizmów dyslokacji, że Molibden BCC mógłby być materiałem z wyboru do konstrukcji diwertorów w tokamakach, zastępując być może wolfram. Materiał wykazuje bardzo dobrą stabilność termo-mechaniczną w zakresie temperatur 400-1000°C. Porównują wyniki dotyczące szczególnie wysokiej stabilności Mo z innymi metalami BCC poszukując przyczyn występujących różnic na poziomie atomowym.

W autoreferacie habilitant bardzo dokładnie, wręcz wyczerpująco pokazuje szczegóły badań i rozwijanych koncepcji badawczych prowadzonych w pracach określających osiągnięcie badawcze. Recenzent wysoko ocenia ten typ autoreferatu, pokazującego w pewien bardziej otwarty sposób ścieżki myślenia, intencje w poszukiwaniach oraz metody działania badawczego Habilitanta. Podsumowując, zdefiniowane przez habilitanta osiągnięcie badawcze posiada dużą wagę merytoryczną. Pokazuje Jego drogę badawczą w pracach nad wyjaśnieniem wielu subtelnych zjawisk fizycznych towarzyszących mikroskalowemu odkształcaniu materiałów. Osiągnięcie badawcze jest znaczne i odpowiednie dla uzyskania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie fizyki. Recenzent w swojej opinii wyszedł nawet w analizie dorobku nieco przed i nieco po podanej przez Habilitanta liście 8 prac, jednak ograniczając się do adekwatnego zakresu tematycznego. Pokazuje to ciągłość tematyki i nieustanne poszukiwanie nowych zagadnień w tej niezwykle interesującej i przyszłościowej pod względem zastosowań tematyce badawczej nauki i inżynierii materiałowej.

### Ocena innej istotnej aktywności naukowej

Recenzent odnosi się tutaj do działalności Habilitanta za granicą i w środowisku międzynarodowym. Działalność naukową w Polsce rozpoczął bowiem bardzo niedawno, ale jak już recenzent pisał powyżej widać pierwsze konkretne rezultaty. Poza listą 8 prac wymienionych jako cykl osiągnięcia naukowego, Habilitant wymienia w dokumentach habilitacyjnych 42 prace opublikowane głównie w indeksowanych czasopismach i na konferencjach międzynarodowych. Prace są w miarę jednolite tematycznie, na dobrym poziomie naukowym. Przedstawiają wyniki wielu poszukiwań przyczynkowych teoretycznych i eksperymentalnych rozwiązujących różne szczegółowe aspekty głównie mikroskalowych badań nad materiałami krystalicznymi. Widoczna jest tutaj chyba korzystna, a w każdym razie bardzo na czasie, cecha nowoczesnego uczonego dbania o publikacje wszystkich wyników nawet tych drobniejszych badań szczegółowych.

Listę prezentacji konferencyjnych i seminariów akademickich (47) Habilitant wymienia osobno, podając tytuł prezentacji i miejsce wygłoszenia. Jest to pozytywna lista pokazująca znaczną aktywność naukową Kandydata na doktora habilitowanego. Oprócz uczestnictwa jako autor Habilitant uczestniczył w pracach komitetów organizacyjnych i naukowych szeregu konferencji krajowych (USA) i międzynarodowych. Habilitant uczestniczył w szeregu większych kilkuletnich projektów badawczych, krajowych (USA) i międzynarodowych (Europejskich), a obecnie w Polsce. Jest członkiem kilku organizacji krajowych (USA) i międzynarodowych w zakresie nauki o materiałach. Jest członkiem Rad



Redakcyjnych recenzowanych czasopism indeksowanych, Materials Theory, Springer-Nature; Journal of Mechanics, Scirea. Pełnił funkcję recenzenta w komitetach naukowych konferencji, ciałach ewaluacyjnych projektów badawczych oraz w czasopismach naukowych. W obszarze dydaktyki, opiekował się studentami wykonującymi dyplomowe prace magisterskie. W zakresie kształcenia kadr naukowych był opiekunem kilku młodszych osób na stanowisku post-doc.

Powyższa lista aktywności Habilitanta obejmująca działania naukowe, organizacyjne, dydaktyczne, kształcenie kadr naukowych, oraz naukowo-społecznościowe na rzecz środowiska naukowego upoważniają recenzenta do stwierdzenia, że Habilitant był i pozostaje nadal bardzo aktywnym członkiem tej społeczności w skali krajowej (USA) oraz międzynarodowej. Ta skala aktywności naukowej, formalnie i zwyczajowo, w sensie ilościowym i jakościowym, jest więcej niż odpowiednia dla osoby starającej się o stopień doktora habilitowanego z dziedziny fizyki.

### **Podsumowanie**

Habilitant jest aktywnym uczonym działającym w warunkach międzynarodowych i osiągającym w pracy badawczej bardzo dobre rezultaty udokumentowane wysokiej jakości publikacjami oraz uczestnictwem w licznych projektach naukowych. Specjalnością naukową Habilitanta jest fizyka materiałów (materials science). Od niedawna Habilitant pracuje naukowo w Polsce w NCBJ i można się spodziewać, że będzie uzyskiwał podobnie obiecujące wyniki badawcze. Tym bardziej, że NCBJ wiąże z Centrum Doskonałości NOMATEN bardzo duże nadzieje naukowe i potencjalnie praktyczne, edrożeńowe. Patrząc na dotychczasowy dorobek Habilitanta, ma On szansę stać się jednym z liderów tej ważnej i ciekawej inicjatywny naukowej o skali ogólnokrajowej w Polsce.

Podsumowując obecność Habilitanta i Jego dorobku w naukowej sieci globalnej recenzent stwierdza, że dorobek ten jest ponadprzeciętny pod względem ilościowym i jakościowym dla osób starających się o stopień doktora habilitowanego z fizyki. Relatywnie wysokie cytowania, odniesione do dość wąskiej dziedziny aktywności naukowej Habilitanta, wskazują na dobry odbiór, przydatność i akceptację wyników jego prac badawczych przez naukowe środowisko międzynarodowe.

Podsumowując ocenę osiągnięcia naukowego sformułowanego przez Habilitanta jako „Modelowanie wieloskalowe, przewidywanie i uczenie maszynowe wahań odkształceń stochastycznych w ciałach stałych” recenzent stwierdza, że własny wkład badawczy w rozwój wiedzy o plastyczności materiałów w mikro i nanoskali jest znaczny i więcej niż odpowiedni do przedstawienia jako dorobek niezbędny do uzyskania stopnia doktora habilitowanego z dziedziny fizyki. Niektóre osiągnięcia szczegółowe recenzent wymienił powyżej podczas omawiania prac składających się na osiągnięcie naukowe. Oprócz tego, za niektóre najwartościowsze ogólne osiągnięcia naukowe Habilitanta, dokładające się do rozwoju wiedzy w dziedzinie nauki o materiałach, należy uznać:

- wyjaśnienie, lub dokładniejsze opisanie wielu subtelnych zjawisk dotyczących plastyczności kryształów w warunkach mikroskalowych,
- przeprowadzenie systematycznych, wręcz masowych symulacji wielu systemów mechanicznych stosując modyfikowane metody modelowania,
- zastosowanie metod uczenia maszynowego, głębokiego uczenia, elementów AI, oraz technik big data do predykcji zachowania systemów mechanicznych w warunkach mikroskalowych.

Podsumowując ocenę innej istotnej działalności naukowej recenzent stwierdza, że większość dorobku Habilitanta jest osnuta wokół jednolitego tematu badawczego. Habilitant wybrał 8 najbardziej charakterystycznych publikacji na podstawie których mógł pokazać ewolucję wysiłku badawczego. Jednak pozostałe publikacje uzupełniają ten nurt w sposób jednolity i nietrywialny. Habilitant jest aktywnym uczonym, rozpoznawalnym w skali międzynarodowej jako dobry specjalista w swojej specjalności naukowej. Udziela się naukowo i organizacyjnie w sposób adekwatny dla niezbędnej

twórczej obecności uczonego w swoim środowisku tematycznym. W szczególności, bierze aktywny udział w kluczowych konferencjach tematycznych. Działa jako redaktor i recenzent w czasopiśmie naukowych. Realizuje projekty badawcze. Opiekuje się młodszymi adeptami nauki o materiałach. Recenzent ocenia inną istotną działalność badawczą Habilitanta, w tym na rzecz swojej społeczności naukowej jako odpowiednią dla osoby ze stopniem doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Przedstawiony przez Habilitanta dorobek naukowy w postaci cyklu publikacji, jako osiągnięcie naukowe pt. „Modelowanie wieloskalowe, przewidywanie i uczenie maszynowe wahań odkształceń stochastycznych w ciałach stałych”, listy pozostałych publikacji, oraz dokumentacji habilitacyjnej, również własna wnikliwa ocena tego dorobku przez recenzenta, a także własna analiza dodatkowych materiałów o dr Stefanosie Papanikolaou dostępnych w globalnej sieci naukowej pozwalają recenzentowi stwierdzić bez wątpliwości, że Kandydat spełnia z nadmiarem wszystkie warunki ustawowe i zwyczajowe związane z uzyskaniem stopnia doktora habilitowanego z dziedziny fizyki.

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized name, possibly 'R. M. A.', written in a cursive script.